



REC'D 17 OCT 2000

WIPO

PCT

FR00/2634

## BREVET D'INVENTION

EJU

## CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

BEST AVAILABLE COPY

## COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 04 SEP. 2000

Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets

## DOCUMENT DE PRIORITÉ

PRÉSENTÉ OU TRANSMIS  
CONFORMÉMENT À LA  
RÈGLE 17.1.a) OU b)

Martine PLANCHE

INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE

SIEGE  
26 bis, rue de Saint Petersburg  
75800 PARIS Cédex 08  
Téléphone : 01 53 04 53 04  
Télécopie : 01 42 93 59 30



1



REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

Confirmation d'un dépôt par télécopie ☐

Cet imprimé est à remplir à l'encre noire en lettres capitales

26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08  
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

Réservé à l'INPI

DATE DE REMISE DES PIÈCES **23 SEPT 1999**  
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL **9911883**  
DÉPARTEMENT DE DÉPÔT **75 INPI PARIS**  
DATE DE DÉPÔT **23 Sept 1999**

1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE  
À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE  
**BREVATOME**  
**3, rue du Docteur Lancereaux**  
**75008 PARIS**

2 DEMANDE Nature du titre de propriété industrielle

☒ brevet d'invention

☐ demande divisionnaire

☐ demande initiale

☐ certificat d'utilité

☐ transformation d'une demande de brevet européen

☐ brevet d'invention

n° du pouvoir permanent 7068 du B 13218.3/PV 0153839400  
du 12.06.98 UD 198 PV  
certificat d'utilité n°  
date

Établissement du rapport de recherche

☐ différé

☒ immédiat

Le demandeur, personne physique, requiert le paiement échelonné de la redevance

☐ oui

☐ non

Titre de l'invention (200 caractères maximum)

**DETECTEUR DE RAYONNEMENT UTILISANT UN MATERIAU COMPOSITE ET  
PROCEDE DE FABRICATION DE CE DETECTEUR.**

3 DEMANDEUR (S) n° SIREN code APE-NAF

Nom et prénoms (souligner le nom patronymique) ou dénomination

**COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE**  
**Etablissement public de caractère scientifique,**  
**technique et industriel**

Forme juridique

française

Nationalité (s)

Adresse (s) complète (s)

**31-33, rue de la Fédération**  
**75752 PARIS 15ème**

Pays

**FRANCE**

En cas d'insuffisance de place, poursuivre sur papier libre ☐

4 INVENTEUR (S) Les inventeurs sont les demandeurs

☐ oui

☒ non

Si la réponse est non, fournir une désignation séparée

5 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES

☐ requise pour la 1ère fois

☐ requise antérieurement au dépôt ; joindre copie de la décision d'admission

6 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE

pays d'origine

numéro

date de dépôt

nature de la demande

7 DIVISIONS

antérieures à la présente demande n°

date

n°

date

8 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE

(nom et qualité du signataire)

**J. LBHU**

**422-5/S002**

SIGNATURE DU PRÉPOSÉ À LA RÉCEPTION

SIGNATURE APRÈS ENREGISTREMENT DE LA DEMANDE À L'INPI



## DÉSIGNATION DE L'INVENTEUR

(si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

## DEPARTEMENT DES BREVETS

26bis, rue de Saint-Petersbourg  
75800 Paris Cédex 08

Tél. : 01 53 04 53 04 - Télécopie : 01 42 93 59 30

SP 13218.3/PV

N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL

99 11883 du 23.09.99

## TITRE DE L'INVENTION :

DETECTEUR DE RAYONNEMENT UTILISANT UN MATERIAU COMPOSITE  
ET PROCEDE DE FABRICATION DE CE MATERIAU.

## LE(S) SOUSSIGNÉ(S)

J. LEHU  
c/o BREVATOME  
3, rue du Docteur Lancereaux  
75008 PARIS

DÉSIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) (indiquer nom, prénoms, adresse et souligner le nom patronymique) :

Jean-Louis GERSTENMAYER

35bis, rue des trois fermes  
91400 ORSAY

Jean-Michel NUNZI

7, rue d'Aquitaine  
92160 ANTONY

FRANCE

NOTA : A titre exceptionnel, le nom de l'inventeur peut être suivi de celui de la société à laquelle il appartient (société d'appartenance) lorsque celle-ci est différente de la société déposante ou titulaire.

Date et signature (s) du (des) demandeur (s) ou du mandataire

PARIS LE 29 SEPTEMBRE 1999

J. LEHU  
422-5/S002

**DÉTECTEUR DE RAYONNEMENT UTILISANT UN MATÉRIAU  
COMPOSITE ET PROCÉDÉ DE FABRICATION DE CE DÉTECTEUR**

**DESCRIPTION**

**DOMAINE TECHNIQUE**

5 La présente invention concerne un détecteur de rayonnement ainsi qu'un procédé de fabrication de ce détecteur.

L'invention s'applique notamment à la détection bidimensionnelle de rayonnements ionisants  
10 comme par exemple les photons X, les photons gamma, les protons, les neutrons et les muons.

Elle trouve en particulier des applications en radiographie et en radioscopie.

L'invention s'applique aussi à la détection  
15 du rayonnement solaire ou thermique (infrarouge) pour produire de l'énergie électrique.

**ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE**

Il existe une forte demande dans le domaine de l'imagerie X pour des applications biomédicales  
20 (énergies des rayons X : de 10 keV à 100 keV), des applications au contrôle non destructif (énergies des rayons X : de 100 keV à 10 MeV) et des applications en instrumentation nucléaire (énergies des rayons X : de 0,5 MeV à 10 MeV).

25 Pour ces applications, on cherche à réaliser des détecteurs ayant de grandes surfaces et

permettant de remplacer les films radiologiques par des systèmes d'imagerie numérique (dans lesquels les images sont stockées sous forme numérique).

Pour d'autres applications, on cherche à  
5 réaliser des détecteurs ou capteurs (« sensors ») permettant des acquisitions ultra-rapides d'images ou de signaux temporels, le temps d'acquisition d'une image pouvant être aussi faible qu'une picoseconde, le temps de lecture pouvant être plus important.

10 D'un point de vue économique, on cherche aussi à former des panneaux de photo-capteurs de très grand format, permettant de rentabiliser l'effet photovoltaïque pour la production d'énergie électrique.

Différents laboratoires développent  
15 actuellement des détecteurs utilisant des semiconducteurs solides (qui peuvent être monocristallins ou polycristallins ou même amorphes) comme par exemple le silicium, le diamant (obtenu par dépôt chimique en phase vapeur), le CdTe ou le GaAs et  
20 leurs alliages.

Tous ces semiconducteurs solides conduisent à des détecteurs ayant un prix de revient élevé compte tenu du temps qui est nécessaire au dépôt chimique en phase vapeur ou à la croissance cristalline des  
25 semiconducteurs.

D'autres détecteurs connus utilisent des scintillateurs mais ces derniers nécessitent des systèmes de lecture optique dont le coût s'ajoute à celui des scintillateurs.

30 Il est également connu de numériser des images qui sont enregistrées sur un film radiologique

mais une telle méthode nécessite une phase de développement chimique qui interdit tout diagnostic en temps réel et représente aussi une part incompressible du coût de la mise en œuvre de cette méthode.

---

5 ~~EXPOSÉ DE L'INVENTION~~

La présente invention a pour objet un détecteur de rayonnement, détecteur qui est susceptible d'avoir une grande surface et un faible coût de fabrication.

10 A cet effet, le détecteur objet de l'invention utilise un matériau composite dont la matrice-hôte (« host matrix ») est un polymère, matériau susceptible d'être obtenu, de façon peu coûteuse, sous forme de couches de grande surface.

15 De façon précise, la présente invention a pour objet un détecteur d'un rayonnement incident, ce détecteur étant caractérisé en ce qu'il comprend :

- au moins une couche d'un matériau composite comprenant une matrice-hôte faite d'un polymère et des particules invitées (« guest particles ») qui sont dispersées dans la matrice-hôte, au moins ces particules invitées étant aptes à interagir, de manière directe ou indirecte, avec le rayonnement, des charges électriques étant engendrées dans la couche de matériau composite lors de l'interaction des particules invitées avec le rayonnement, et
- 20
- 25 - des moyens de création d'un champ électrique dans la couche de matériau composite, la matrice-hôte étant apte à transporter les charges électriques sous

l'action de ce champ électrique et permettant ainsi d'exploiter ces charges électriques.

Le polymère peut être choisi dans le groupe comprenant les polymères semiconducteurs et les polymères électriquement isolants.

De préférence, on choisit un polymère dans lequel la mobilité des charges électriques est supérieure à  $10^{-6} \text{ cm}^2/\text{V.s}$ .

Ce polymère est de préférence choisi dans le groupe comprenant le polyphénylènevinylène (en abrégé PPV), le polythiophène, le polyaniline, le polypyrrole et le polydiacétylène.

Il peut aussi être une molécule biologique, par exemple de l'ADN.

Les particules invitées peuvent être aptes à produire les charges électriques par interaction directe avec le rayonnement incident ou par interaction indirecte avec ce dernier, par exemple par interaction avec d'autres charges électriques produites par interaction du rayonnement incident avec la matrice-hôte.

Ces particules invitées peuvent être choisies dans le groupe comprenant des grains d'au moins une poudre d'un métal, des grains d'au moins une poudre d'un semiconducteur, des grains d'au moins une poudre d'un matériau photoélectrique (matériau où il est possible d'obtenir l'effet photoélectrique) et des particules colloïdales semiconductrices ou métalliques.

De préférence, les particules invitées ont un numéro atomique moyen supérieur à 14, une masse



volumique moyenne supérieure à  $2 \text{ g.cm}^{-3}$  et une permittivité relative moyenne supérieure à 10.

Les particules invitées peuvent être enrobées dans un matériau qui empêche leur agglomération.

~~Les moyens de création du champ électrique~~  
peuvent comprendre des électrodes qui sont placées de part et d'autre de la couche de matériau composite et entre lesquelles des tensions électriques sont destinées à être appliquées.

Ces électrodes peuvent être en outre aptes à interagir avec le rayonnement incident et à convertir ce rayonnement incident en des charges électriques.

Les électrodes peuvent être aussi aptes à collecter les charges électriques engendrées dans la couche de matériau composite.

Selon un premier mode de réalisation particulier de l'invention, les électrodes comprennent une première rangée d'électrodes parallèles et une deuxième rangée d'électrodes parallèles, les électrodes de la première rangée formant un angle avec les électrodes de la deuxième rangée, les première et deuxième rangées étant respectivement placées de part et d'autre de la couche de matériau composite.

Selon un deuxième mode de réalisation particulier, les électrodes comprennent un réseau (« array ») bidimensionnel d'électrodes et une électrode formant une contre-électrode, ce réseau et cette contre-électrode étant respectivement placés de part et d'autre de la couche de matériau composite.

Dans la présente invention, on peut utiliser un polymère électroluminescent en mode continu ou électroluminescent en mode impulsif (« AC electroluminescent » dans les articles en langue anglaise) en vue d'une lecture du détecteur de manière optique.

---

En variante, on ajoute au polymère de la matrice-hôte une poudre d'un composé électroluminescent en mode impulsif en vue d'une lecture du détecteur de manière optique.

Selon un mode de réalisation particulier du détecteur objet de l'invention, les particules invitées sont aptes à interagir avec le rayonnement solaire en vue de produire de l'énergie électrique avec le détecteur.

Selon un autre mode de réalisation particulier du détecteur objet de la présente invention, le matériau composite est semiconducteur et le rayonnement incident est un rayonnement ionisant constitué de premières particules, le détecteur comprend des couches du matériau composite ainsi qu'un empilement de feuilles d'un premier matériau qui est apte à émettre des deuxièmes particules par interaction avec le rayonnement ionisant incident, les couches du matériau composite alternant avec les feuilles du premier matériau et étant capables d'être ionisées par les deuxièmes particules, chacune des couches étant associée à l'une des feuilles, l'empilement ayant des première et deuxième faces opposées, contenant chacune des bords respectifs des feuilles et des couches, le détecteur étant destiné à être orienté de façon que le

rayonnement ionisant arrive sur la première face, la longueur de chaque feuille, comptée de la première à la deuxième face, étant au moins égale au dixième du libre parcours moyen des premières particules dans le premier matériau, les moyens de création du champ électrique

---

comprenant, pour chaque couche, un groupe de pistes parallèles et électriquement conductrices qui s'étendent de la première à la deuxième face, parallèlement à cette couche, et qui sont en contact

avec celle-ci, les pistes étant aussi destinées à collecter les charges qui sont engendrées dans cette couche par interaction de celle-ci avec les deuxièmes particules et éventuellement avec les premières particules et qui sont représentatives, en intensité et

en position, des premières particules, le champ électrique étant aussi apte à provoquer la collection des charges par les pistes.

Dans ce cas, selon un mode de réalisation particulier de l'invention, le premier matériau est électriquement conducteur, les pistes sont électriquement isolées des feuilles et les moyens de création du champ électrique comprennent en outre des moyens d'application d'une tension électrique entre les pistes et les feuilles, cette tension étant apte à

provoquer la collection des charges par les pistes.

De préférence, chaque groupe de pistes est contenu dans la couche à laquelle il est associé.

Dans ce cas, selon un autre mode de réalisation particulier, le premier matériau est électriquement conducteur et les moyens de création du champ électrique comprennent en outre des moyens

d'application d'une tension électrique entre les pistes et les feuilles, cette tension étant apte à provoquer la collection des charges par les pistes.

5                    Selon un autre mode de réalisation particulier, les feuilles sont électriquement isolantes, une couche électriquement conductrice est interposée entre chaque couche de matériau composite semiconducteur et la feuille qui lui est associée et les moyens de création du champ électrique comprennent  
10 en outre des moyens d'application d'une tension électrique entre les pistes et les couches électriquement conductrices, cette tension étant apte à provoquer la collection des charges par les pistes.

15                    La présente invention concerne aussi un procédé de fabrication du détecteur objet de l'invention, procédé selon lequel on forme la couche de matériau composite et les moyens de création du champ électrique dans cette couche de matériau composite.

#### **BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS**

20                    La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description d'exemples de réalisation donnés ci-après, à titre purement indicatif et nullement limitatif, en faisant référence aux dessins annexés sur lesquels :

- 25                    ■ la figure 1 est une vue en coupe schématique et partielle d'un détecteur conforme à l'invention,  
                      ■ la figure 2 est une vue de dessus schématique d'un mode de réalisation particulier du détecteur objet de l'invention,

- la figure 3 est une vue en perspective schématique et partielle d'un autre mode de réalisation particulier du détecteur objet de l'invention,
- 5    ▫ la figure 4 est une vue en perspective schématique d'un détecteur bidimensionnel de rayonnement ionisant conforme à l'invention,
- la figure 5 est une vue en coupe schématique et partielle du détecteur de la figure 4, selon le plan P de cette figure 4,
- 10    ▫ la figure 6 est une vue en perspective coupée schématique d'une variante de réalisation du détecteur de la figure 4, et
- la figure 7 est une vue en perspective schématique et partielle d'une autre variante de réalisation du détecteur de la figure 4.
- 15

#### EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

Le détecteur conforme à l'invention, qui est schématiquement et partiellement représenté en coupe sur la figure 1, est destiné à détecter un rayonnement incident R.

20

Ce détecteur comprend une couche MC d'un matériau composite comportant une matrice-hôte MH dans laquelle sont dispersées des particules invitées solides PI. L'épaisseur de cette couche est par exemple de l'ordre de 1  $\mu\text{m}$  à 1 mm.

25

Le détecteur comprend aussi deux électrodes e1 et e2 entre lesquelles est comprise la couche MC.

Dans le cas où le rayonnement R doit traverser l'une des électrodes e1 et e2 pour atteindre la couche MC, cette électrode (par exemple l'électrode e1) doit être faite d'un matériau laissant passer ce rayonnement R.

La matrice-hôte M est faite d'un polymère. Les techniques de mise en œuvre des polymères permettent la réalisation de couches de grande surface (de l'ordre de 1 m<sup>2</sup>) avec un coût extrêmement faible.

10 Pour obtenir de telles couches, on peut procéder par peinture, sérigraphie, moulage, coulage, trempage ou dépôt (par exemple par une technique de projection) ou polymérisation in situ sur les particules.

La proportion des particules invitées dans la matrice-hôte est par exemple de l'ordre de 1% à 70% en volume suivant le détecteur que l'on veut former.

Ces particules invitées sont, si cela est nécessaire, enrobées dans un composé empêchant leur agglomération.

20 Le polymère de la matrice-hôte M peut être semiconducteur ou électriquement isolant. Les charges électriques parviennent aux électrodes par conduction dans le premier cas et par induction capacitive dans le second cas.

25 On utilise de préférence un polymère dans lequel les charges électriques ont une mobilité supérieure à 10<sup>-6</sup> cm<sup>2</sup>/V/s.

On peut par exemple utiliser un polymère semiconducteur tel que le PPV (polyphénylènevinylène) le polythiophène, le polyaniline, le polypyrrole ou le polydiacétylène. Ces polymères sont tous des macro-

molécules dont le « squelette » possède une alternance périodique de simples liaisons et de doubles ou triples liaisons entre des atomes de carbone ou des hétéro-atomes tels que l'azote.

5 De tels polymères sont caractérisés par une mobilité élevée des trous, de l'ordre de  $10^{-4} \text{ cm}^2/\text{V/s}$  à  $1 \text{ cm}^2/\text{V/s}$ .

10 On peut aussi utiliser le polyvinylcarbazole qui est caractérisé par une mobilité de trous supérieure à  $10^{-6} \text{ cm}^2/\text{V/s}$ .

Un polymère isolant tel que l'isooctane, présentant une mobilité élevée d'électrons, de l'ordre de  $10^{-4} \text{ cm}^2/\text{V/s}$  à  $1 \text{ cm}^2/\text{V/s}$  est également utilisable.

15 Les particules invitées qui sont introduites dans la matrice-hôte ont un haut pouvoir d'arrêt vis-à-vis du rayonnement incident R. Elles ont pour fonction de capturer ce rayonnement (qui peut être un rayonnement X ou un rayonnement gamma) et de le convertir en charges électriques.

20 Compte tenu de leur fonction, il convient que ces particules invitées aient un numéro atomique moyen, une masse volumique moyenne et une permittivité relative moyenne respectivement supérieurs au numéro atomique moyen, à la masse volumique moyenne et à la permittivité relative moyenne du polymère.

25 De préférence, on utilise des particules invitées ayant un numéro atomique moyen supérieur à 14, une masse volumique moyenne supérieure à  $2 \text{ g/cm}^3$  et une permittivité relative moyenne supérieure à 10.

30 Ces particules invitées sont de préférence issues d'une poudre d'un semiconducteur (par exemple

CdTe, ZnS, ZnSe ou ZnTe), dont les grains ont des tailles de l'ordre de 1 nm à 100  $\mu$ m, ou même des particules colloïdales de ce semiconducteur.

5 A la place d'un semiconducteur, on peut utiliser un métal (par exemple Zn, Ag ou Mg) à l'état finement divisé ou un matériau photoélectrique (par exemple CsI ou un autre matériau utilisé pour les photocathodes), de préférence à l'état ultra-divisé, pour faciliter la sortie d'électrons engendrés sous  
10 l'impact du rayonnement incident.

On peut même utiliser des grains de mélanges de poudres de différentes natures ou de différentes granulométries.

15 Les particules invitées peuvent également être choisies pour convertir en électrons des particules ionisantes comme par exemple des électrons secondaires engendrés dans la matrice-hôte à la suite de l'interaction de cette dernière avec le rayonnement incident.

20 On peut ainsi détecter des particules telles que des neutrons, des protons ou des particules  $\alpha$  (remarquons que le polymère, qui contient beaucoup de protons, est apte à détecter ces particules).

25 Les électrodes sont destinées à l'application du champ électrique permettant le transport, par la matrice-hôte, des charges engendrées par les particules invitées. Dans certains détecteurs conformes à l'invention, ces électrodes permettent en outre la collection de ces charges et donc la mesure du  
30 courant engendré par le rayonnement incident dans la



couche de matériau composite, ce qui permet la mesure d'un débit de dose.

Ces électrodes peuvent être faites d'un métal (par exemple le chrome, le tungstène, l'argent ou l'or) ou d'un semi-métal (par exemple l'oxyde d'indium ou l'ITO c'est-à-dire l'oxyde d'indium dopé à l'étain) mais leur nature peut aussi être imposée par des fonctions secondaires qu'elles peuvent également avoir à assurer, comme on le verra par la suite.

Par exemple, si l'on veut qu'elles participent aussi à la conversion du rayonnement incident en électrons, le matériau constitutif de ces électrodes est choisi pour avoir une haute section efficace vis-à-vis de ce rayonnement : on choisit par exemple un métal lourd comme le plomb ou le tungstène.

Le champ électrique appliqué, de façon continue ou pulsée, à la couche de matériau composite par l'intermédiaire des électrodes (et d'une source de tension appropriée, connectée entre ces dernières) est par exemple de l'ordre de  $0,1 \text{ V}/\mu\text{m}$  à  $100 \text{ V}/\mu\text{m}$ .

Dans certains détecteurs conformes à l'invention, les électrodes permettent la définition de points élémentaires ou « pixels » de ces détecteurs. Ces électrodes peuvent en effet former un treillis métallique aux nœuds duquel sont situés les pixels.

Ceci est schématiquement illustré par la figure 2 qui montre, en vue de dessus, un détecteur conforme à l'invention comprenant une couche MC de matériau composite, une première rangée d'électrodes parallèles E1 qui sont formées sur une face de cette couche et une deuxième rangée d'électrodes parallèles

E2 qui sont formées sur l'autre face de la couche MC et qui sont perpendiculaires à la rangée d'électrodes E1.

Des circuits C1 et C2 sont prévus pour polariser les électrodes du détecteur afin de créer le  
5 champ électrique à chaque croisement des électrodes.

---

Dans le cas de la figure 2, les pixels sont simplement délimités par le champ électrique régnant entre les électrodes. Il s'agit là d'une configuration à lecture de type comptage. Avec des électrodes  
10 ponctuelles, comme par exemple des boules (« balls »), des pointes (« tips ») ou des plots (« pads »), rapportées sur une matrice CCD ou CMOS, on peut obtenir un mode de lecture parallèle des images.

Ceci est schématiquement illustré par la  
15 figure 3 sur laquelle on voit un autre détecteur conforme à l'invention comprenant une couche MC de matériau composite, un réseau (« array ») bidimensionnel d'électrodes E3 formé sur une face de cette couche et une électrode E4 constituant une  
20 contre-électrode et formée sur l'autre face de la couche MC. Le rayonnement R que l'on veut détecter arrive en direction de cette couche E4 choisie pour être transparente à ce rayonnement.

Supposons que les charges engendrées par  
25 les particules invitées sous l'impact du rayonnement incident soient des électrons.

Les électrodes E3 sont alors mises à la masse et une source de tension V est prévue pour porter l'électrode E4 à un potentiel négatif pour créer le  
30 champ électrique entre l'électrode E4 et chaque électrode E3. De plus, un circuit CL de type CCD est

prévu pour lire les signaux fournis par les électrodes E3 lorsqu'un rayonnement est détecté.

Le circuit CL comprend un réseau bidimensionnel d'électrode E5 formant des plots qui sont respectivement reliés aux plots E3 par l'intermédiaire de boules de brasure B. De plus, les plots E5 (et donc les plots E3) sont mis à la masse.

On revient maintenant au fonctionnement d'un détecteur conforme à l'invention. Les particules invitées servent à la conversion du rayonnement en charges électriques (électrons ou trous). Une fois thermalisées, ces charges, par exemple des électrons, doivent quitter les particules invitées pour être collectées par les électrodes.

Dans le cas de particules invitées semiconductrices, on peut comprendre le fonctionnement électrique de la couche de matériau composite MC (figure 1) en l'assimilant à un ensemble de condensateurs montés en série.

En l'absence de charges électriques ayant une mobilité suffisamment élevée dans le polymère, on utilise le fait que les particules invitées ont une grande permittivité relative  $\epsilon_d$ , par exemple supérieure à 10. On suppose que le polymère a, quant à lui, une faible permittivité relative  $\epsilon_p$ , par exemple inférieure à 5.

Le champ électrique engendré dans la couche de matériau composite, dont la valeur moyenne est égale au rapport de la tension  $V$  appliquée entre les électrodes à l'épaisseur  $L$  de la couche de matériau

composite, est appliqué de façon inégale entre le polymère et le semiconducteur.

En l'absence de rayonnement, le rapport du champ électrique  $E_p$  appliqué au polymère au champ électrique  $E_d$  appliqué au semiconducteur est proportionnel au rapport  $\epsilon_d / \epsilon_p$ .

En présence de rayonnement, les particules invitées semiconductrices convertissent les photons en charges électriques et deviennent ainsi conductrices. Leur champ électrique interne  $E_d$  devient alors proche de 0, tout le champ électrique se trouve appliqué au polymère et  $E_p$  devient peu différent de  $(v/L) \times (1-X^{1/3})$  où  $X$  est la fraction volumique des particules invitées.

Cette forte variation du champ électrique interne peut favoriser une migration efficace de charges électriques dans le polymère, ce qui est favorable à un bon rapport signal/bruit de photodétection.

Un mode de lecture par voie optique d'un détecteur conforme à l'invention est également envisageable. Il faut que le polymère de la couche composite de ce détecteur ou les particules invitées soient électroluminescents en mode impulsionnel (« AC electroluminescent »). On peut aussi ajouter au polymère de la couche composite un phosphore électroluminescent en mode impulsionnel par exemple.

L'accroissement du champ électrique dans un polymère électroluminescent en mode impulsionnel y provoque une électroluminescence induite par effet de champ. Dans ce cas, le courant photo-induit engendré par le rayonnement dans des particules invitées

semiconductrices appropriées est apte à être détecté ou mesuré par l'électroluminescence propre à ces particules.

On peut utiliser des particules invitées de ZnS:Mn<sup>2+</sup>, de CaS:Eu, de SrS:Ce ou de divers semiconducteurs à l'état nanocristallin, comme le silicium poreux qui peut être préparé par craquage (« cracking ») d'hydrures, par décomposition de chlorures par plasma ou par attaque électrochimique.

On peut alors utiliser une couche de matériau composite par exemple munie d'électrodes croisées comme sur la figure 2 et polariser les électrodes pour appliquer, à chaque croisement de celles-ci, un champ électrique de polarisation dans la couche. L'électroluminescence localement engendrée dans cette couche sous l'impact du rayonnement incident est alors détectée par un réseau bidimensionnel (non représenté) de photodétecteurs que l'on place en regard de l'une des faces de la couche de matériau composite.

Dans le cas où l'on veut réaliser un détecteur conforme à l'invention, destiné à être un élément d'un capteur de rayonnement solaire (capteur photovoltaïque) pour convertir ce rayonnement en énergie électrique, on utilise une couche de matériau composite MC (figure 1) faite d'un polymère tel que le polythyophène avec des particules invitées telles que des particules de ZnS.

On forme, de part et d'autre de cette couche, deux couches conductrices dont l'une est exposée au rayonnement solaire et transparente à ce dernier (elle est par exemple en ITO), on applique

entre ces deux couches conductrices une tension permettant de créer le champ électrique dans la couche de matériau composite et l'on récupère, par l'intermédiaire des couches conductrices, les charges  
5 électriques engendrées dans la couche de matériau composite sous l'impact du rayonnement solaire à travers une jonction.

Une couche de matériau composite utilisable dans la présente invention peut être élaborée de  
10 diverses façons.

On peut par exemple partir d'un semiconducteur convenable du point de vue électronique, déjà à l'état de poudre (de tels semiconducteurs étant commercialement disponibles).

15 Le polymère destiné à constituer la matrice-hôte est d'abord dissous dans un solvant, par exemple le toluène, puis mélangé à la poudre de semiconducteur par exemple grâce à un tambour, un mélangeur-granulateur ou une assiette granulatrice. Une  
20 simple sédimentation peut même suffire et l'on verse alors l'excès de solvant puis on laisse le solvant restant s'évaporer. Le mélange homogène préparé mécaniquement peut être étendu. Le solvant s'évapore ensuite et laisse une couche composite de quelques  
25 centaines de micromètres à plusieurs millimètres d'épaisseur.

En variante, on mélange la poudre de semiconducteur additionnée d'un anti-agglomérant compatible avec le monomère destiné à former la  
30 matrice-hôte et, en se polymérisant, ce monomère emprisonne les grains du semiconducteur.

D'autres techniques industrielles permettant de lier une poudre (par exemple par mise en solution ou en dispersion ou par humidification de cette poudre) ou des techniques de compactage (du genre  
5 de celles qui permettent de former des comprimés) ou même des techniques d'extrusion sont utilisables pour l'obtention de la couche de matériau composite.

Le mélange de poudre de semiconducteur et de polymère dissous dans un solvant volatil peut  
10 également être projeté sur une surface complexe et/ou très grande, comme dans le cas de la peinture au pistolet.

Il peut être avantageux de partir des composants de base (par exemple poudre de zinc et  
15 poudre de tellure, monomère) pour réduire encore les coûts.

En partant de poudres des éléments constitutifs d'un matériau semiconducteur, on peut permettre la formation du bon composé stoechiométrique  
20 semiconducteur par fusion à température élevée. On peut employer à cet effet toutes les techniques de « solidification rapide » de poudres comme dans le cas de la lyophilisation (en utilisant par exemple un tambour ou un disque tournant ou une atomisation dans  
25 un courant gazeux). La poudre peut alors être récupérée à sec puis traitée comme on l'a vu plus haut pour former la couche de matériau composite ou être entraînée directement par la solution de polymère (ou le monomère).

30 Les techniques de synthèse en phase vapeur de poudres sont également envisageables (par exemple

craquage, dépôt chimique en phase vapeur ou projection dans un plasma). Dans certains cas, le dépôt peut avoir lieu sur un substrat refroidi, capable de supporter le monomère ou le polymère en solution, ou par évaporation  
5 simultanée des molécules organiques, destinées à former la matrice-hôte en polymère.

---

On peut aussi utiliser une technique de projection simultanée de la poudre de semiconducteur, par un courant gazeux, par exemple un courant d'azote,  
10 entraînant des gouttelettes de semiconducteur plus ou moins fondues, produites par l'intermédiaire d'une torche à plasma, et de polymères aussi sous forme de gouttelettes. Dans ce cas, en opérant au-dessus de la température de frittage naturel de la poudre, on peut  
15 envisager d'utiliser d'autres diélectriques à haut point de fusion (par exemple sous forme de verres ou d'oxydes) pour former un cermet.

Par voie humide ou par un procédé sol-gel, on peut également inclure des particules invitées d'un  
20 semiconducteur dans une matrice-hôte formant un aérogel et contenant peu ou beaucoup de polymère.

Les électrodes d'un détecteur conforme à l'invention peuvent être par exemple en métal ou en ITO ou en verre conducteur ou en polymère conducteur. Des  
25 électrodes en métal peuvent être déposées électrochimiquement sur la couche de matériau composite tandis que des électrodes en verre conducteur ou en polymère conducteur peuvent être collées à cette couche.

30 Les figures 4 à 7 illustrent schématiquement des détecteurs bidimensionnels de



rayonnement ionisant qui sont réalisés conformément à l'invention. Ces détecteurs des figures 4 à 7 utilisent un matériau composite semiconducteur. Cela signifie que sa matrice-hôte est de type polymère isolant ou  
5 semiconducteur tandis que ses particules invitées sont de type semiconducteur.

---

Ces détecteurs sont réalisables plus rapidement et de façon moins coûteuse que les détecteurs bidimensionnels de rayonnement ionisant que  
10 l'on connaît par exemple par les documents suivants :

[1] Jean-Louis Gerstenmayer, Damien Lebrun et Claude Hennion, « Multistep parallel plate avalanche chamber as a 2D imager for MeV pulsed radiography », Proc. SPIE, vol.2859, p.107 à 114,  
15 colloque du 7 au 8 août 1996, Denver, Colorado, U.S.A.

[2] J.L. Gerstenmayer, « High DQE performance X- and Gamma-ray fast imagers : emergent concepts », 1998 Symposium on Radiation Detection and Measurement, Ann Arbor, Michigan, 11 au 14 mai 1998, Proceedings in Nuclear and Methods in Physics Research A.  
20

Dans l'exemple représenté sur les figures 4 et 5, le rayonnement ionisant est constitué de photons  
25 X qui ont par exemple une énergie de 5 MeV.

Le détecteur des figures 4 et 5 comprend un empilement 2 de feuilles 4 d'un matériau électriquement conducteur qui est apte à émettre des électrons par interaction avec les photons X du rayonnement ionisant  
30 incident.

Ce détecteur comprend aussi des couches 6 d'un matériau composite semiconducteur (dont la matrice-hôte est par exemple en PPV et les particules invitées par exemple en CdTe) qui alternent avec les  
5 feuilles 4 et dont les particules invitées sont capables d'être ionisées par les photo-électrons émis par le matériau conducteur lorsque celui-ci interagit avec les photons X et éventuellement directement, bien que dans une moindre proportion, par les photons X  
10 primaires.

Chacune des couches 6 est associée à l'une des feuilles 4.

L'empilement des feuilles 4 et des couches 6 a une première face 8 et une deuxième face 10 qui  
15 sont opposées.

Chacune des faces 8 et 10 contient des bords 12 des feuilles 4 et des bords 14 des couches 6 qui alternent avec les bords 12 des feuilles 4.

Le détecteur des figures 4 et 5 est disposé  
20 de façon que les feuilles 4 et les couches 6 soient sensiblement parallèles à la direction du rayonnement ionisant à détecter et que ce rayonnement arrive sur la face 8.

La longueur de chaque feuille 4, comptée de  
25 la face 8 à la face 10, est au moins égale au dixième du libre parcours moyen des photons X dans le matériau conducteur dont sont constituées les feuilles 4.

Comme on le voit sur les figures 4 et 5, un photon X incident, dont la trajectoire a la référence  
30 16 sur les figures 4 et 5, interagit avec le matériau conducteur d'une feuille 4 pour produire, par effet

Compton, photoélectrique ou de création de paires, un électron de grande énergie cinétique, dont la trajectoire est représentée par la flèche 18 sur la figure 5.

5 On a également représenté par une flèche 20 sur la figure 5 la trajectoire du photon d'énergie inférieure à celle du photon X incident, qui résulte de l'interaction de ce dernier avec le matériau conducteur de la feuille 4.

10 Le détecteur des figures 4 et 5 comprend aussi des groupes de pistes 22 parallèles et électriquement conductrices qui s'étendent de la face 8 à la face 10, parallèlement aux couches 6.

15 Chaque groupe de pistes 22 est associé à l'une des couches 6 et en contact avec celle-ci.

20 Les pistes 22 sont destinées à collecter des porteurs de charge qui sont engendrés dans les couches 6 par interaction des particules invitées de celles-ci avec les électrons résultant de l'interaction des photons X incidents avec le matériau conducteur dont sont faites les feuilles 4.

Ces porteurs de charge sont représentatifs, en intensité et en position, des photons X incidents.

25 On voit sur la figure 5 un porteur de charge dont la trajectoire a la référence 24 et qui résulte de l'interaction de l'électron ayant la trajectoire 18 avec des particules invitées d'une couche 6 et ce porteur de charge ayant la trajectoire 24 est collecté par une piste conductrice 22 associée à  
30 cette couche 6.

Le détecteur comprend aussi des moyens 26 (figure 4) pour créer le champ électrique apte à provoquer le transport des porteurs de charge puis la collection de ceux-ci par les pistes 22.

5 Dans l'exemple représenté sur les figures 4 et 5, chaque groupe de pistes conductrices 22 est contenu dans la couche 6 à laquelle est associé ce groupe.

10 Cela évite d'avoir à utiliser des supports électriquement isolants (par exemple en matière plastique ou en céramique) pour les pistes, supports qui sont encombrants, ce qui diminue la résolution spatiale du détecteur, et qui sont d'ailleurs inutiles à la détection proprement dite.

15 Dans le cas de ces figures 4 et 5, les moyens 26 sont des moyens d'application d'une tension électrique entre les pistes 22 et les feuilles 4, cette tension étant apte à provoquer le transport des porteurs de charge puis leur collection par les pistes  
20 22.

On précise que le plan de coupe P (figure 4) traverse les pistes conductrices d'une même rangée de pistes (rangée qui est horizontale sur la figure 4), les pistes de cette rangée appartenant respectivement  
25 aux couches 6.

On voit aussi sur la figure 4 que chaque groupe de pistes est sensiblement contenu dans un plan perpendiculaire au plan P et que ce groupe s'étend sensiblement du haut de la couche 6 associée au bas de  
30 celle-ci.

Dans un mode de réalisation particulier non représenté, le matériau constitutif des feuilles 4 est encore électriquement conducteur mais les pistes 22 ne sont plus contenues dans les couches 6 : chaque groupe  
5 de pistes se trouve à l'interface de la couche 6 correspondante et de la feuille de matériau conducteur qui est associée à une couche 6 adjacente.

Dans ce cas, on prévoit un matériau électriquement isolant pour isoler les pistes 22 des  
10 feuilles 4 de matériau conducteur mais l'on peut encore utiliser les mêmes moyens 26 que précédemment.

Le détecteur des figures 4 et 5 est muni d'un dispositif électronique 30 de lecture des signaux électriques fournis par les pistes 22 lorsque celles-ci  
15 collectent les porteurs de charge.

On voit sur la figure 5 qu'une extrémité 32 de chaque piste 22 est recourbée pour s'étendre sur un bord 14 de la couche 6 correspondante, ce bord étant  
20 situé sur la face 10 de l'empilement des feuilles 4 et des couches 6.

Le dispositif électronique de lecture 30 comprend des plots électriquement conducteur 34 qui sont respectivement en contact avec les extrémités recourbées 32 des pistes 22.

25 Ce contact peut être réalisé par l'intermédiaire de boules 36 de brasure, par exemple des boules d'indium, ou par l'intermédiaire de fils électriquement conducteurs ou même en appliquant les extrémités recourbées des pistes contre les plots du  
30 dispositif de lecture associé, par des moyens

appropriés, par exemple par pressage ou avec une colle électriquement conductrice.

On précise que les plots 34 sont disposés suivant le même pas que les extrémités recourbées 32  
5 des pistes 22.

---

On peut utiliser un matériau composite semiconducteur non dopé ou, au contraire, un matériau composite semiconducteur dopé de type N auquel cas les électrons sont les porteurs de charge majoritaires, ou  
10 de type P auquel cas les porteurs majoritaires sont les trous.

Pour collecter les porteurs de charge, on peut mettre les feuilles conductrices 4 à un potentiel négatif et les plots conducteurs 34 (et donc les pistes  
15 22) à la masse ou mettre les feuilles 4 à la masse et les plots conducteurs 34 (et donc les pistes 22) à un potentiel positif.

Dans les deux cas les trous engendrés dans les couches 6 sont attirés par les feuilles 4 de  
20 matériau conducteur tandis que les électrons engendrés dans ces couches 6 sont attirés par les pistes 22 et collectés par celles-ci, fournissant ainsi des signaux électriques qui sont lus grâce au dispositif 30.

Inversement on peut porter les feuilles 4 à  
25 un potentiel positif et mettre les plots 34 à la masse ou mettre les feuilles 4 à la masse et porter les plots 34 à un potentiel négatif. Dans les deux cas les électrons sont attirés par les feuilles et les trous sont attirés par les pistes et collectés par celles-ci,  
30 fournissant encore des signaux électriques qui sont lus grâce au dispositif 30.

Dans chaque cas, les pistes 22 convertissent, sous forme numérique et électrique, l'image analogique qui est transportée par les rayons X que l'on détecte.

5

Dans l'exemple représenté sur la figure 5, toutes les pistes 22 sont mises à la masse par l'intermédiaire des plots électriquement conducteurs 34 et l'on porte à un potentiel négatif toutes les feuilles de matériau conducteur 4 grâce à une source de tension 38.

10

Dans ce cas, les pistes 22 collectent des électrons.

Pour porter à un potentiel négatif (par exemple égal à -500 V) toutes les feuilles 4 de matériau conducteur on utilise une plaque électriquement isolante 40 sur une face de laquelle sont formées des pistes 42 parallèles électriquement conductrices dont la pas est égal à celui des feuilles 4.

15

Toutes ces pistes 42 sont reliées à une piste 44 également formée sur cette face de la plaque 40 et cette piste 44 est reliée à la source de tension négative 38.

20

On applique alors la face de la plaque 40 portant les pistes 42 sur une face de l'empilement 2 sur laquelle apparaissent également des bords des feuilles 4, cette face étant différente des faces 8 et 10, de telle manière que les pistes 42 viennent respectivement en contact avec les bords des feuilles 4, ce qui permet de porter toutes ces feuilles 4 au potentiel négatif souhaité.

25

30

La plaque 40 est par exemple en céramique ou en polymère et les pistes 42 et 44 en or.

Les éléments 38, 40, 42 et 44 constituent les moyens 26 mentionnés plus haut.

5 De préférence, pour des raisons d'encombrement et de vitesse de lecture, le dispositif électronique de lecture 30 est du genre de ceux qui sont utilisés dans les capteurs CCD.

Pour un détecteur de dimensions modestes,  
10 on peut connecter directement les pistes 22 de l'empilement 2 aux pixels d'un capteur CCD sans revêtement (« coating »).

Dans le cas d'un détecteur de plus grandes dimensions, on peut prévoir une matrice de connexion  
15 intermédiaire entre les pistes 22 de l'empilement 2 et le dispositif de lecture par exemple de type CCD.

Les plots conducteurs 34 se trouvent alors sur l'une des faces de cette matrice pour être respectivement connectés aux extrémités recourbées 32  
20 des pistes 22 et ces plots sont électriquement reliés aux pixels d'un dispositif de lecture par exemple de type CCD par l'intermédiaire de connexions électriques qui traversent cette matrice.

Les épaisseurs des feuilles 4 de matériau  
25 conducteur (ou isolant comme on le verra plus loin) et des couches 6 sont fixées pour optimiser la résolution spatiale du détecteur et le rendement de conversion (conversion et collection des charges). De préférence, on recherche les épaisseurs les plus petites possibles,  
30 typiquement de l'ordre de 100  $\mu\text{m}$  à quelques centaines de micromètres.



A titre d'exemple, on peut utiliser des feuilles 4 de matériau conducteur dont l'épaisseur est de l'ordre de 200  $\mu\text{m}$  et des couches 6 dont l'épaisseur est de l'ordre de 200  $\mu\text{m}$ .

5 Il convient de noter que la structure d'un détecteur du genre de celui des figures 4 et 5 permet, par rapport aux détecteurs à trous connus par les documents [1] et [2], d'améliorer de façon spectaculaire le rendement (de l'ordre de 50%), avec  
10 une épaisseur appropriée de matériau suivant la direction du rayonnement à détecter, et la résolution spatiale qui peut être de l'ordre de 100  $\mu\text{m}$  en choisissant un pas approprié pour les pistes 22.

En effet, dans la direction perpendiculaire  
15 aux feuilles 4 la résolution spatiale est déterminée par le pas entre les feuilles 4 et entre les pistes (qui peut être de l'ordre de 50  $\mu\text{m}$  à 200  $\mu\text{m}$ ).

Pour la détection de rayons X, on utilise de préférence un métal lourd, par exemple du tungstène  
20 ou du plomb.

A titre purement indicatif et nullement limitatif, dans le cas où l'on veut détecter des photons X dont l'énergie vaut 5 MeV, on utilise un détecteur de 2 cm d'épaisseur (comptée de la face 8 à  
25 la face 10 de la figure 1), des couches 6 de 100  $\mu\text{m}$  d'épaisseur en PPV où sont dispersées des particules de CdTe, et des feuilles 4 de tungstène de 400  $\mu\text{m}$  d'épaisseur avec des pistes 22 au pas de 0,5 mm. Ces dimensions peuvent être réduites si cela est  
30 nécessaire, un pas de 100  $\mu\text{m}$  étant technologiquement réalisable.

On explique maintenant un exemple de procédé de fabrication du détecteur des figures 4 et 5.

Les feuilles 4 de matériau conducteur peuvent être réalisées par un procédé quelconque.

5                    Leur surface doit être suffisamment conductrice et non oxydée.

---

Cette surface peut être revêtue, si cela est nécessaire, d'un dépôt métallique plus adapté à la réalisation d'un contact ohmique avec le matériau des  
10 couches 6 par exemple une couche d'or.

Pour former sur les couches 6 les pistes 22 qui peuvent être en or ou en un métal mieux adapté au matériau composite semiconducteur utilisé, on peut procéder de la façon suivante :

- 15 - on forme, d'une manière indiquée plus haut, une première épaisseur de matériau composite semiconducteur (par exemple 50  $\mu\text{m}$ ) sur l'une des faces de l'une des feuilles conductrices 4,
- 20 - on dépose des pistes 22 en or ayant par exemple une largeur de 5  $\mu\text{m}$  par évaporation à travers un masque ou par un procédé de photolithographie, sur le matériau composite semiconducteur ainsi déposé, et
- 25 - on dépose une deuxième épaisseur de matériau composite semiconducteur sur la première épaisseur de manière à recouvrir les pistes 22 et à obtenir l'épaisseur totale souhaitée de matériau composite semiconducteur (par exemple 100  $\mu\text{m}$ ).

On procède de même pour chaque feuille conductrice 4.

30                    En variante, on peut aussi déposer, sur deux faces opposées de deux feuilles successives, une

demi-couche du matériau composite semiconducteur puis former sur l'une des demi-couches le groupe de pistes.

Les feuilles conductrices 4 ainsi recouvertes sont alors empilées de façon à obtenir  
5 l'alternance de feuilles conductrices 4 et de couches 6  
~~et sont maintenues au contact les unes des autres par~~  
une légère pression qui est exercée par des moyens appropriés, par exemple un dispositif mécanique, ou par une colle électriquement conductrice.

10 Le détecteur conforme à l'invention, qui est schématiquement représenté en perspective coupée sur la figure 6, diffère de celui de la figure 4 par le fait que les feuilles 4 sont électriquement isolantes, par exemple en matière plastique, dans le cas de la  
15 figure 6, en vue de détecter par exemple des neutrons, et par le fait que l'on interpose entre chaque feuille de matériau isolant 4 et la couche 6 correspondante une couche mince (épaisseur de l'ordre de 5  $\mu\text{m}$  à 10  $\mu\text{m}$ ) électriquement conductrice 46 par exemple en or ou en  
20 cuivre, comme on le voit sur la figure 6.

Dans ce cas on peut encore porter toutes les couches électriquement conductrices 46 au potentiel électrique souhaité par rapport aux pistes 22, par l'intermédiaire de pistes électriquement conductrices  
25 du genre des pistes 42 formées sur la plaque isolante 40 (figure 4).

La figure 7 est une vue en perspective schématique et partielle d'une variante de réalisation du détecteur de la figure 4.

30 Dans le détecteur de la figure 7, chaque couche 6 est une nappe de fils juxtaposés 6a faits du

matériau composite semiconducteur, chaque fil contenant, suivant son axe, un fil métallique constituant une piste 22. Les fils 6a munis de ces pistes 22 peuvent être obtenus par extrusion.

---

## REVENDICATIONS

1. Détecteur d'un rayonnement incident (R, 16), ce détecteur étant caractérisé en ce qu'il comprend :

- 5 - au moins une couche (MC, 6) d'un matériau composite ~~comprenant une matrice-hôte (MH) faite d'un polymère~~ et des particules invitées (PI) qui sont dispersées dans la matrice-hôte, au moins ces particules invitées étant aptes à interagir, de manière directe
- 10 ou indirecte, avec le rayonnement, des charges électriques étant engendrées dans la couche de matériau composite lors de l'interaction des particules invitées avec le rayonnement, et
- des moyens (e1-e2, E1-E2, E3-E4, 22-26) de création
- 15 d'un champ électrique dans la couche de matériau composite, la matrice-hôte étant apte à transporter les charges électriques sous l'action de ce champ électrique et permettant ainsi d'exploiter ces charges électriques.

- 20 2. Détecteur selon la revendication 1, dans lequel le polymère est choisi dans le groupe comprenant les polymères semiconducteurs et les polymères électriquement isolants.

- 25 3. Détecteur selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, dans lequel la mobilité des charges électriques dans le polymère est supérieure à  $10^{-6}$  cm<sup>2</sup>/V/s.

- 30 4. Détecteur selon la revendication 3, dans lequel le polymère est choisi dans le groupe comprenant le polyphénylènevinylène, le polythiophène, le polyaniline, le polypyrrole et le polydiacétylène.

5. Détecteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel les particules invitées (PI) sont aptes à produire les charges électriques par interaction directe avec le rayonnement incident ou par interaction avec d'autres charges électriques produites par interaction de ce rayonnement incident avec la matrice-hôte (MH).

6. Détecteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel les particules invitées (PI) sont choisies dans le groupe comprenant des grains d'au moins une poudre d'un métal, des grains d'au moins une poudre d'un semiconducteur, des grains d'au moins une poudre d'un matériau photoélectrique et des particules colloïdales semiconductrices ou métalliques.

7. Détecteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel les particules invitées (PI) ont un numéro atomique moyen supérieur à 14, une masse volumique moyenne supérieure à  $2 \text{ g.cm}^{-3}$  et une permittivité relative moyenne supérieure à 10.

8. Détecteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel les particules invitées (PI) sont enrobées dans un matériau qui empêche l'agglomération de ces particules invitées.

9. Détecteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans lequel les moyens de création du champ électrique comprennent des électrodes (e1-e2, E1-E2, E3-E4) qui sont placées de part et d'autre de la couche de matériau composite et entre lesquelles des tensions électriques sont destinées à être appliquées.

10. Détecteur selon la revendication 9, dans lequel les électrodes sont en outre aptes à interagir avec le rayonnement incident et à convertir ce rayonnement incident en des charges électriques.

5 11. Détecteur selon l'une quelconque des revendications 9 et 10, dans lequel les électrodes sont en outre aptes à collecter les charges électriques engendrées dans la couche de matériau composite.

10 12. Détecteur selon l'une quelconque des revendications 9 à 11, dans lequel les électrodes comprennent une première rangée d'électrodes parallèles (E1) et une deuxième rangée d'électrodes parallèles (E2), les électrodes de la première rangée formant un angle avec les électrodes de la deuxième rangée, les  
15 première et deuxième rangées étant respectivement placées de part et d'autre de la couche de matériau composite (MC).

20 13. Détecteur selon l'une quelconque des revendications 9 à 11, dans lequel les électrodes comprennent un réseau bidimensionnel d'électrodes (E3) et une électrode formant une contre-électrode (E4), ce réseau et cette contre-électrode étant respectivement placés de part et d'autre de la couche de matériau composite (MC).

25 14. Détecteur selon la revendication 1, dans lequel le polymère est électroluminescent en mode impulsif en vue d'une lecture du détecteur de manière optique.

30 15. Détecteur selon la revendication 1, dans lequel une poudre d'un composé électroluminescent

en mode impulsionnel est ajoutée au polymère en vue d'une lecture du détecteur de manière optique.

16. Détecteur selon la revendication 1, dans lequel les particules invitées sont aptes à  
5 interagir avec le rayonnement solaire en vue de produire de l'énergie électrique avec le détecteur.

---

17. Détecteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans lequel le matériau composite est semiconducteur et le rayonnement incident (16) est  
10 un rayonnement ionisant constitué de premières particules, le détecteur comprenant des couches (6) du matériau composite ainsi qu'un empilement de feuilles (4) d'un premier matériau qui est apte à émettre des  
deuxièmes particules par interaction avec le  
15 rayonnement ionisant incident, les couches du matériau composite alternant avec les feuilles du premier matériau et étant capables d'être ionisées par les  
deuxièmes particules, chacune des couches étant associée à l'une des feuilles, l'empilement ayant des  
20 première (8) et deuxième (10) faces opposées, contenant chacune des bords respectifs des feuilles et des couches, le détecteur étant destiné à être orienté de façon que le rayonnement ionisant arrive sur la première face, la longueur de chaque feuille, comptée  
25 de la première à la deuxième face, étant au moins égale au dixième du libre parcours moyen des premières particules dans le premier matériau, les moyens de création du champ électrique comprenant, pour chaque couche, un groupe de pistes (22) parallèles et  
30 électriquement conductrices qui s'étendent de la première à la deuxième face, parallèlement à cette



couche, et qui sont en contact avec celle-ci, les pistes étant aussi destinées à collecter les charges qui sont engendrées dans cette couche par interaction de celle-ci avec les deuxièmes particules et éventuellement avec les premières particules et qui sont représentatives, en intensité et en position, des premières particules, le champ électrique étant aussi apte à provoquer la collection des charges par les pistes.

10 18. Détecteur selon la revendication 17, dans lequel le premier matériau est électriquement conducteur, les pistes (22) sont électriquement isolées des feuilles (4) et les moyens de création du champ électrique comprennent en outre des moyens (26) d'application d'une tension électrique entre les pistes et les feuilles, cette tension étant apte à provoquer la collection des charges par les pistes.

19. Détecteur selon la revendication 17, dans lequel chaque groupe de pistes (22) est contenu dans la couche (6) à laquelle il est associé.

20 20. Détecteur selon la revendication 19, dans lequel le premier matériau est électriquement conducteur et les moyens de création du champ électrique comprennent en outre des moyens (26) d'application d'une tension électrique entre les pistes et les feuilles, cette tension étant apte à provoquer la collection des charges par les pistes.

21. Détecteur selon l'une quelconque des revendications 17 et 19, dans lequel les feuilles (4) sont électriquement isolantes, une couche électriquement conductrice (46) est interposée entre

chaque couche de matériau semiconducteur composite et la feuille qui lui est associée et les moyens de création du champ électrique comprennent en outre des moyens (26) d'application d'une tension électrique  
5 entre les pistes (22) et les couches électriquement conductrices (46), cette tension étant apte à provoquer la collection des charges par les pistes.

---

22. Procédé de fabrication du détecteur selon la revendication 1, dans lequel on forme la  
10 couche de matériau composite (MC) et les moyens (e1, e2) de création du champ électrique dans cette couche de matériau composite.

1/5

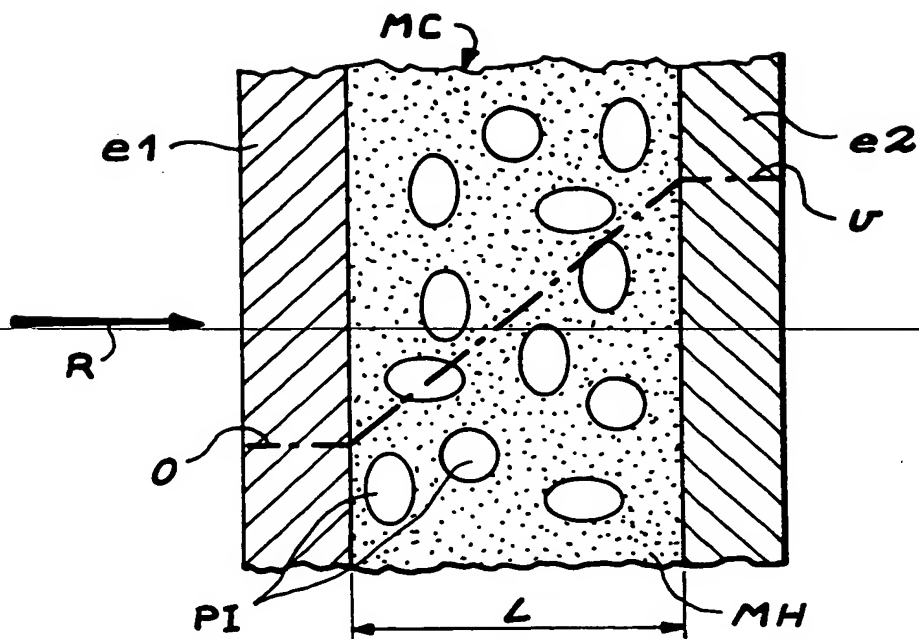


FIG. 1

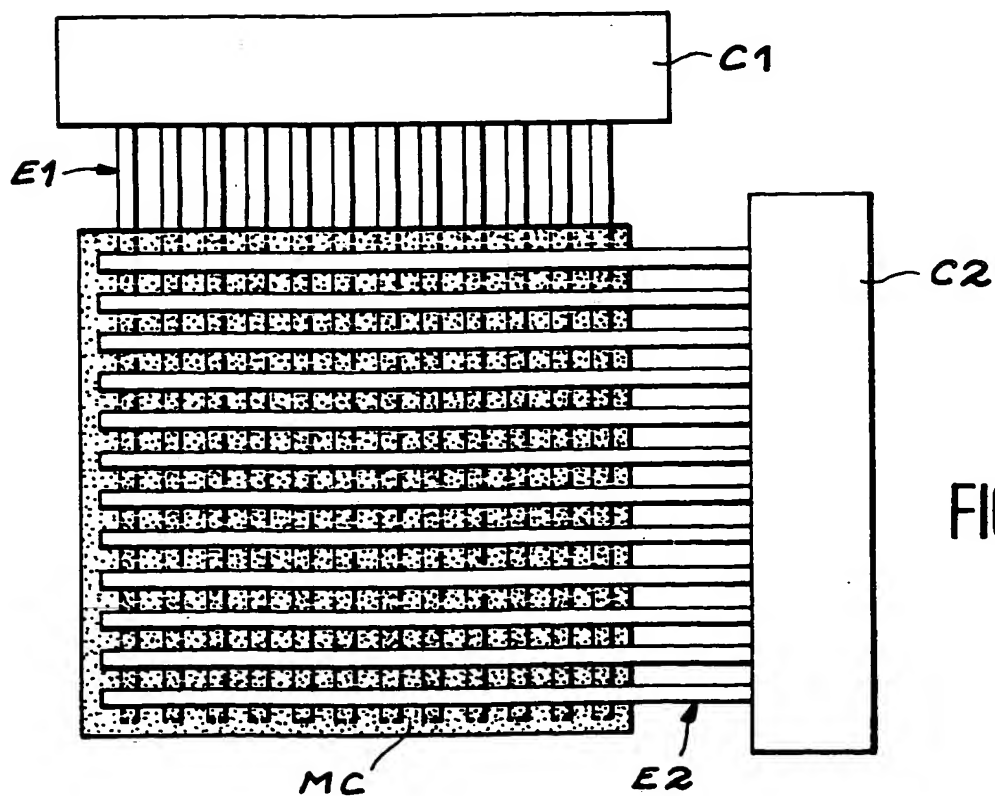
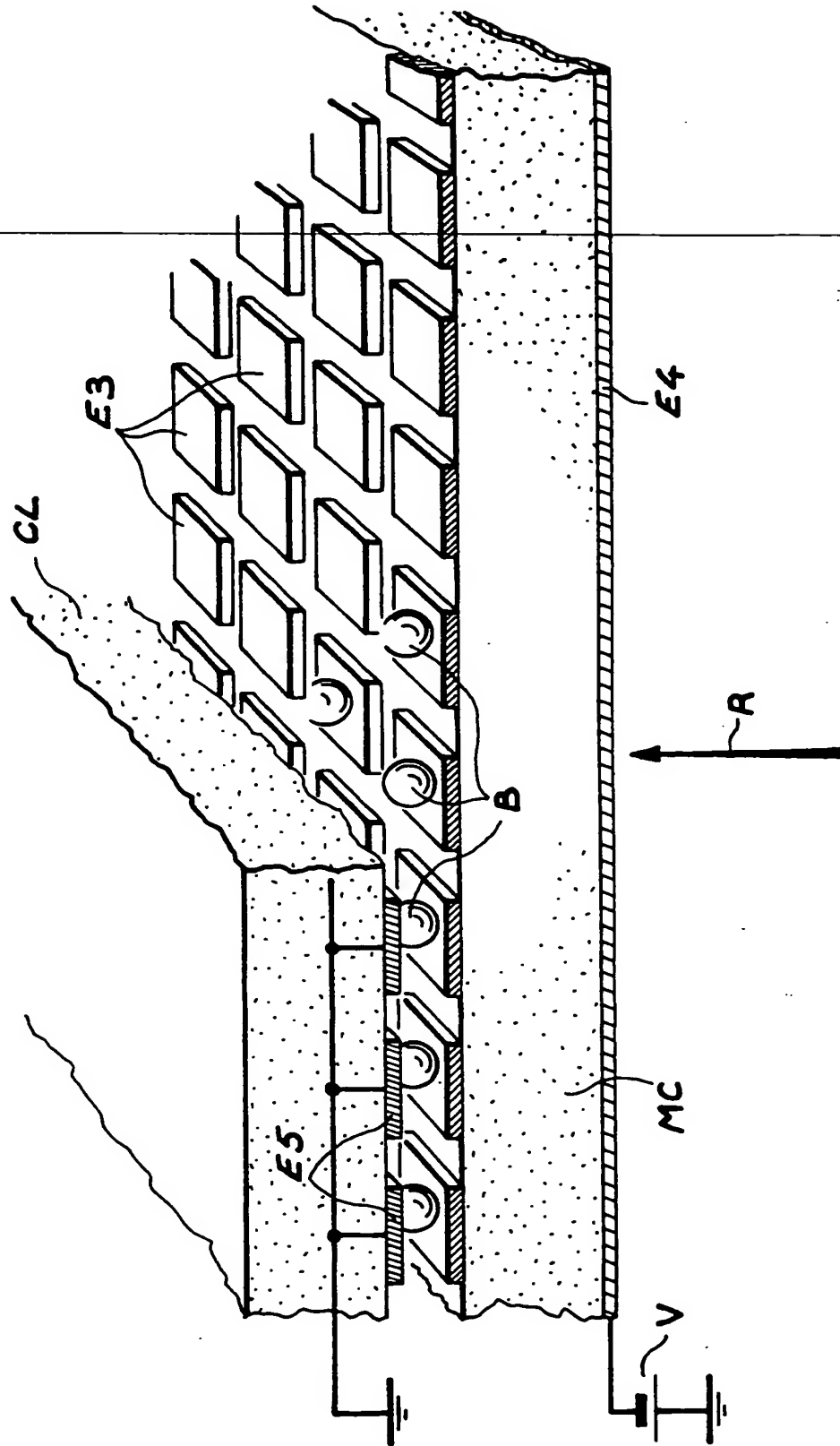


FIG. 2

FIG. 3



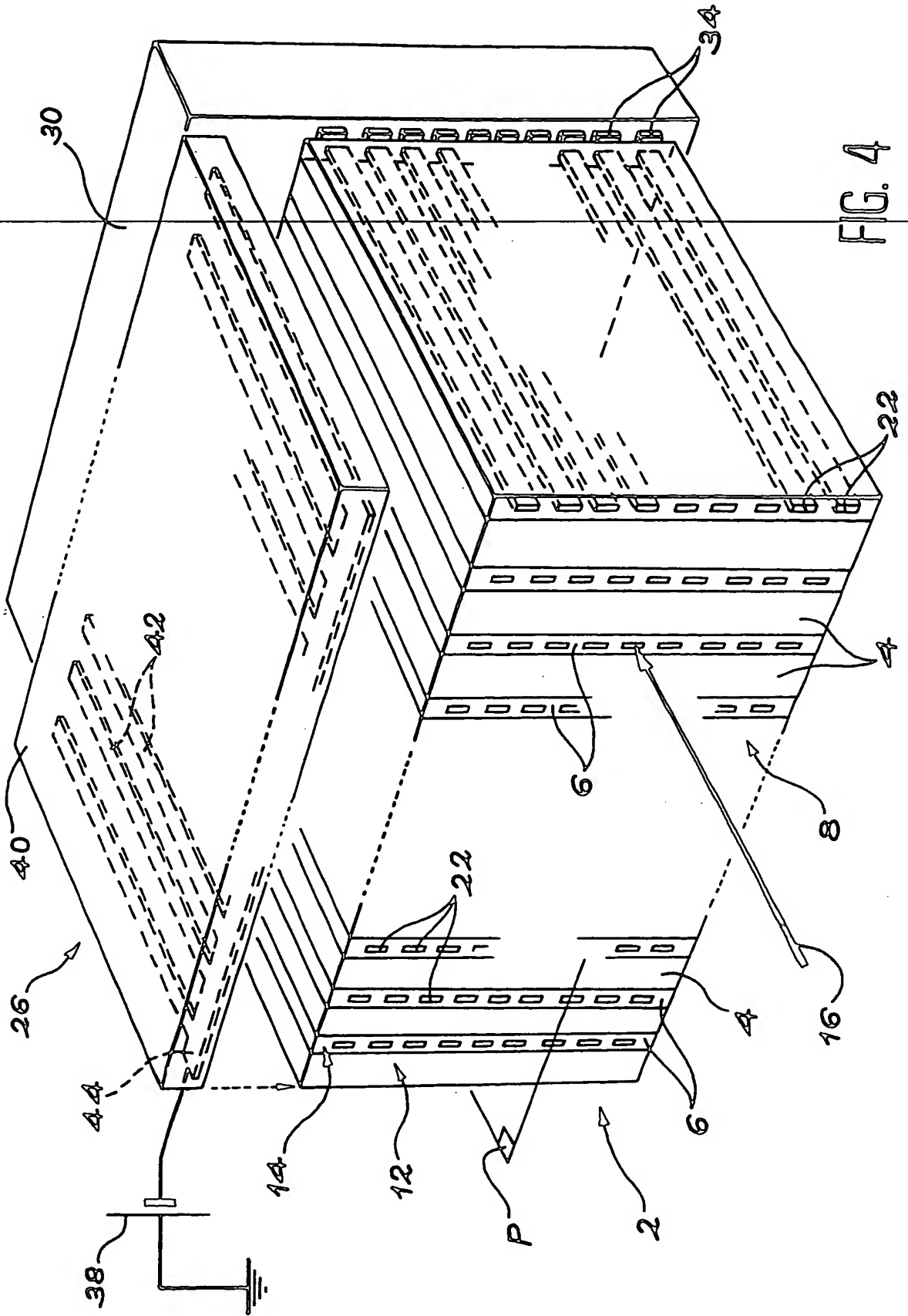


FIG. 4

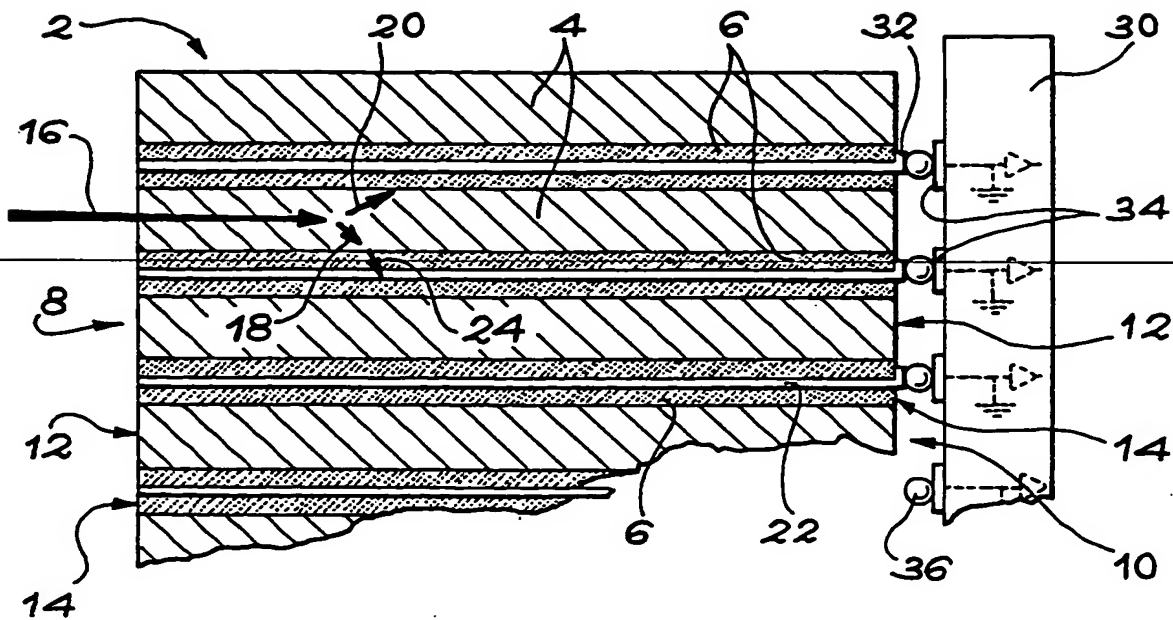
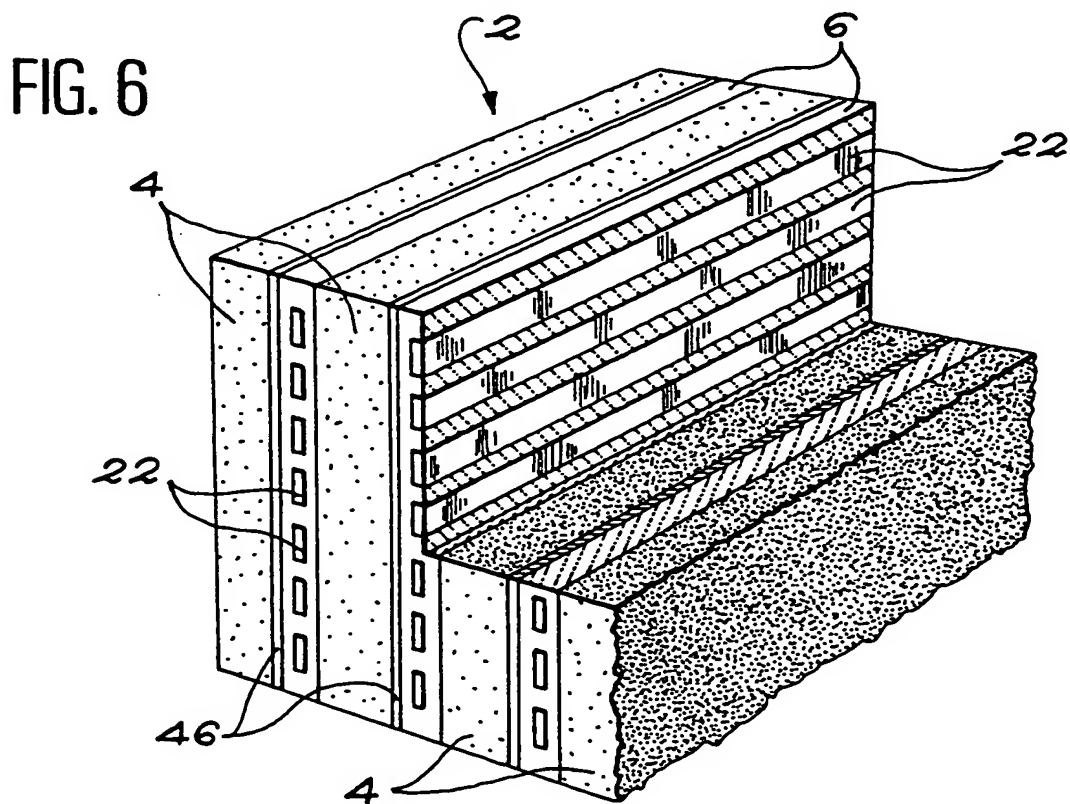


FIG. 5



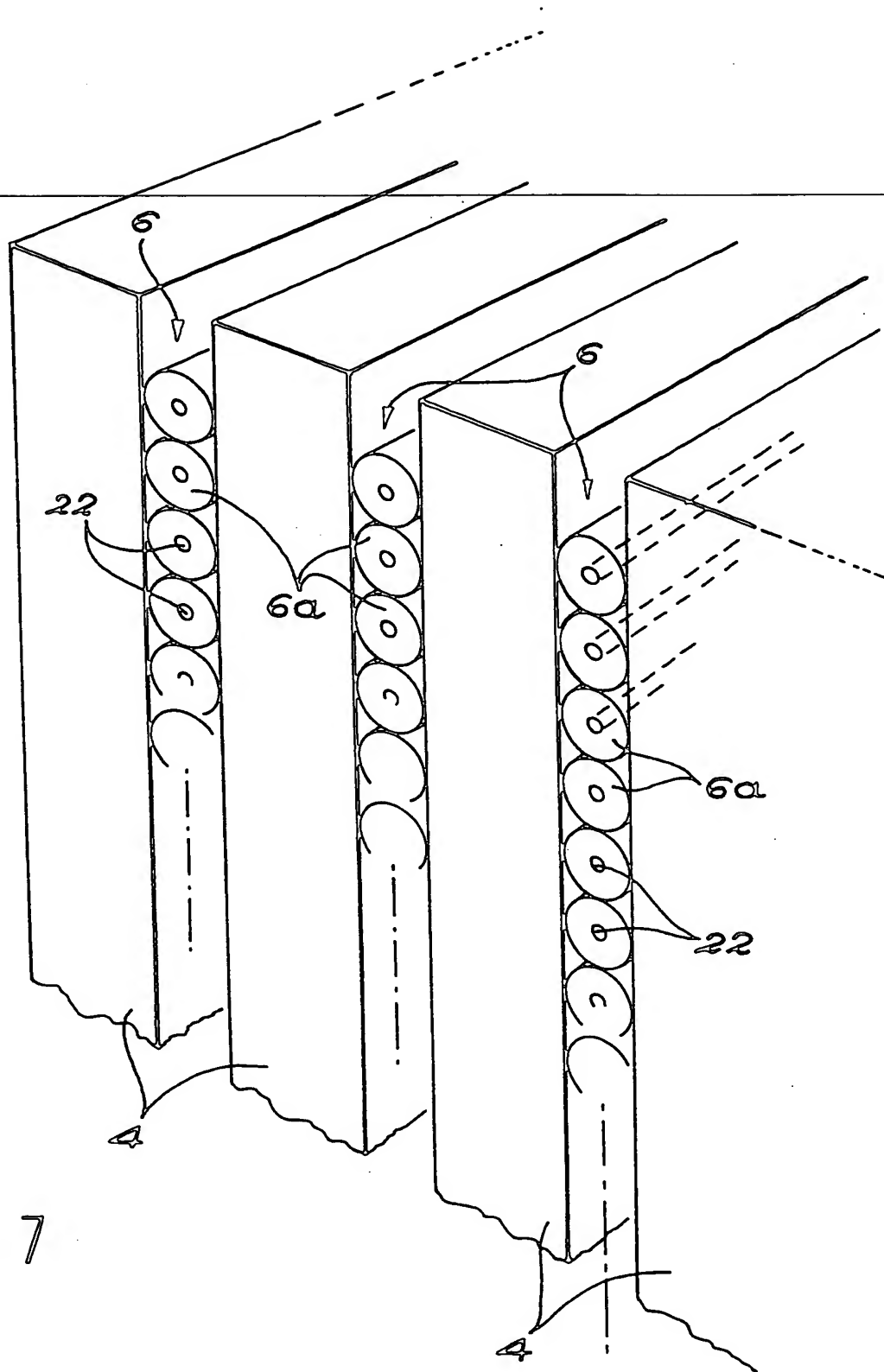


FIG. 7

---

Two page Blank (uspic)



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

This Page Blank (uspto)